

Состояние и перспективы развития аддитивных технологий в производстве титановых изделий

© 2016 г. Д.Ю. Санников, Л.А. Костыгова*

В статье рассмотрены перспективы развития аддитивных технологий в производстве титановых изделий. Изучены их преимущества перед традиционными методами производства и обработки изделий и проблемы, возникающие при их использовании. Последние могут быть преодолены на основе кластерного подхода. Перспективным примером практического использования аддитивных технологий в промышленности России является организация их исследования и применения в создаваемом титановом кластере. Установлено, что для экономической оценки применения аддитивных технологий в производстве титановых изделий необходима разработка методических положений, отражающих специфику их применения.

Ключевые слова: аддитивные технологии в производстве титановых изделий, преимущества и недостатки, перспективы применения аддитивных технологий, использование аддитивных технологий в титановом кластере.

В настоящее время отмечается интенсивный рост применения аддитивных технологий. Мировой рынок аддитивных технологий с 2010 по 2014 г. вырос в среднем на 27,4 %, и его объем уже достиг 3 млрд долл. Прогнозируется, что в ближайшее время ежегодный рост рынка достигнет 30 % и, по оценкам экспертов, к 2017 г. составит 6 млрд долл., а к 2020 г. – почти 11 млрд. Лидерами в области аддитивных технологий являются США, Германия и Китай. Кроме того, в 22 странах уже созданы национальные ассоциации по аддитивным технологиям, объединенные в альянс *GARPA* [1, 2]. Аддитивные технологии становятся одним из перспективных направлений инновационного развития, поэтому для обеспечения конкурентоспособности России необходимо использование этих прогрессивных технологий. Пока вклад России в рынок аддитивных технологий оценивается в 1,5 %. За последние 15 лет в стране выдан только 131 патент по различным аспектам аддитивного производства, а это 0,14 % от мирового количества [2]. Широкое внедрение аддитивных процессов должно привести к инновационному развитию и кардинальной трансформации традиционных машиностроительных секторов экономики России, даст толчок новым исследованиям в различных отраслях экономики [3].

В мировой практике имеется достаточно много примеров различных технологий (около 20), которые можно отнести к аддитивным. Объединяющим эле-

ментом такого рода технологий является принципиально новый подход, при котором производство изделия происходит в результате добавления (от англ. *add* – «добавлять»), а не удаления лишнего материала. В итоге обеспечивается совершенно иной подход к решению ряда важных проблем современного производства. Различные технологии, основанные на принципе аддитивности, могут быть объединены в несколько групп: стереолитография, лазерное спекание порошков, 3D-печать, ламинирование листовых материалов, электронно-лучевая плавка.

Наиболее перспективным для металлургии является послойное лазерное спекание (сплавление), характеризующееся широким спектром металлических композиций на основе Ni и Co (CoCrMo, Inconel, NiCrMo), на основе Fe (инструментальные стали: 18Ni300, H13; нержавеющая сталь: 316L), на основе Ti (Ti6-4, CpTigr1), на основе Al (AlSi10Mg, AlSi12), а также порошков бронз, спецсплавов и драгметаллов. Прогрессивными методами являются селективное лазерное спекание – *Selective Laser Sintering*, *Selective Laser Melting (SLS)*-технология и технология «струйной печати» – *InkJet* или *PolyJe*. *SLS*-технология в качестве модельных материалов использует большое количество как полимерных, так и металлических порошков. Порошкообразный полиамид применяется в основном для функционального моделирования, макетирования и изготовления контрольных сборок, полистирол используется для изготовления литейных выжигаемых моделей. Перспективна аддитивная технология «струйной печати» (*InkJet*- или *PolyJe*-технологии), предусматривающая нанесение модельного материала или связующего состава с помощью струйных головок. Особый интерес *InkJet*-технологии представляют для литейного дела в производстве автомобилей. С их помощью стало возможным на порядок сократить время прохожде-

* Санников Д.Ю. – главный бухгалтер ПАО «Корпорация ВСМПО-Ависма». 624760, Свердловская область, Верхняя Салда, ул. Парковая, д. 1.

Костыгова Л.А. – канд. экон. наук, доц. каф. прикладной экономики НИТУ «МИСиС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, kostmisis@yandex.ru.

ния НИОКР по критически важным для автостроителей позициям – литейным деталям: блоки и головки цилиндров двигателей, мосты и коробки передач, детали, на изготовление которых в традиционном опытно-производственном производстве тратились месяцы, а с применением аддитивных технологий время изготовления сократилось до двух недель [4].

Большие перспективы применения аддитивных технологий открываются в области производства изделий из титана и его сплавов. Титан – дорогостоящий металл, сложный в обработке, при которой возникает большое количество отходов в виде стружки. Технологическая схема производства титана характеризуется многооперационностью и невысоким уровнем сквозного извлечения. Например, для постройки американского истребителя F-22 требуется 2796 кг титанового сплава, из которых только 144 кг непосредственно используются в самолете [5]. Цифровые технологии проектирования, изготовления, испытаний, аддитивного производства деталей позволяют решить много проблем, возникающих при производстве изделий из титана. Кроме этого, как отмечают исследователи, изготовление деталей с заранее запрограммированной структурой в различных ее частях с учетом напряжений, возникающих в ней в условиях эксплуатации, открывает пути создания нового класса конструктивных деталей из алюминиевых, титановых и жаропрочных материалов с повышенными характеристиками работоспособности. Так, например, ученые из Центра аддитивной технологии при Университете Монаша в Австралии изготовили с помощью 3D-печати 14 основных компонентов двигателя из титана, алюминия и никелевого сплава. [6].

Решение задачи более широкого использования аддитивных технологий требует изучения вопросов, связанных с их особенностями, и в первую очередь оценкой их экономической эффективности. С экономической точки зрения наиболее важным является следующее:

- снижение материалоемкости изделий;
- оптимизация технологической схемы производства продукции за счет ликвидации операций по первичной переработке сырья и обработке заготовок;
- значительная экономия времени на проектирование, освоение и производство изделий;
- сочетание аддитивных методов производства с возможностями цифровых технологий при проектировании и изготовлении изделий;
- значительное сокращение дефектов изделий при проектировании и производстве сложных изделий;
- автоматизация подбора материала, технологий производства, процессов проектирования и производства продукции;
- мониторинг и контроль производства
- мгновенный анализ и расчет затрат и стоимости продукции.

Кроме этого, в случае необходимости появляется возможность не создавать запасы изделий с коротким жизненным циклом, а заказывать их под конкретную потребность [7].

Снижение материалоемкости изделий

Аддитивные технологии могут обеспечить получение близкого к единице отношения исходной массы материала, необходимого для выпуска детали, к массе конечной детали. Для большинства деталей, изготавливаемых традиционным способом, это соотношение может достигать 20:1. В результате резко уменьшается количество отходов, снижаются затраты на производство продукции [8]. Кроме этого, появляется возможность оптимизировать форму, вес, состав материала, из которого изготавливается изделие, а также прочностные характеристики изделий, делать их полностью гибкими, пружинистыми, вентилируемыми и т.п. Например, авиакомпания может сэкономить 2,5 млн долл. только за счет того, что уменьшит на 50–80 % вес металлических креплений в салоне. Именно это позволяет сделать аддитивные технологии. Или другой пример – печать двухместного электрокара из термопластика, усиленного углеродными волокнами, «Strati», состоящего всего из 49 деталей, включая напечатанный на 3D-принтере корпус. В то время как типичный промышленный автомобиль имеет в своем составе несколько тысяч деталей [9].

Оптимизация технологической схемы

Внедрение аддитивных технологий позволяет отказаться от операций по переработке первичного сырья до заготовки и ликвидировать операции по обработке заготовок. При этом резко сокращается количество отходов, а следовательно операций по их переработке и утилизации. В результате упрощения технологической схемы должна быть достигнута значительная экономия как текущих, так и капитальных затрат. Однако при этом следует учитывать, что в этом случае появляются дополнительные затраты, связанные с созданием и использованием отечественных прогрессивных технологий производства различных мелкодисперсных металлических порошков на основе титана, алюминия, никеля, кобальта и других металлов, композиции которых являются исходным сырьем при использовании аддитивных технологий в металлургии. В настоящее время исходное сырье и специальное оборудование для осуществления аддитивных технологий в большинстве случаев импортируется. Так, например, цена титанового порошка на мировом рынке обусловлена единственным пока способом его изготовления – дорогостоящим процессом Кролла – и колеблется от 200 до 400 долл. за килограмм [4].

Сочетание аддитивных методов производства с возможностями цифровых технологий при проектировании и изготовлении изделий позволяет значительно сократить затраты времени на каждом из этапов (проектирование, испытание, производство), использовать возможность передачи посредством Интернета трехмерных компьютерных моделей деталей, что значительно ускоряет процесс последующей организации локального производства в любой точке мира.

Автоматизация процессов

Автоматизация аддитивных процессов обеспечивает возможность контроля технологических процессов, мониторинга процесса формирования себестоимости продукции. При этом обеспечивается автоматизация подбора материала и технологий производства [10].

Следует отметить, что технологические особенности аддитивных процессов в сочетании с их автоматизацией позволяют значительно сократить время на проектирование, уменьшить количество дефектов, обеспечить проектирование и производство более сложных изделий любой произвольной формы и сложности, например изделий с внутренними каналами охлаждения, которые выполнить на токарном станке проблематично. Кроме этого, аддитивные технологии позволяют организовать как массовое, так мелкосерийное и единичное производство высококачественных деталей. Аддитивные технологии целесообразно использовать для ремонта и восстановления деталей больших механизмов. Компания *General Electric* заявила, что готова к относительно массовому производству топливных форсунок из кобальтохромового порошка для своего нового турбовинтового двигателя *LEAP* с помощью процесса *DMLS*. Компания отметила, что может выпускать по меньшей мере 25 000 форсунок в год (одному двигателю требуется 19 форсунок). Расчеты показывают, что если в авиационном двигателе *AV8B*, сделанном из сплава титана, алюминия и ванадия, восстанавливать лопатки по технологии *LENS*, то можно сэкономить 715 000 долл. в год [9].

Внедрение аддитивных технологий в отчетственную практику требует незамедлительного решения проблем импортозамещения:

- специального оборудования, которое в настоящее время производится иностранными фирмами;
- создания отечественных прогрессивных технологий производства различных мелкодисперсных металлических порошков на основе титана, алюминия, никеля, кобальта и других металлов, композиции которых являются исходным сырьем при использовании аддитивных технологий в металлургии. Важнейшим условием успешного внедрения аддитивных технологий является комплексный подход, предполагающий создание инфраструктуры полного цикла. Внедрение таких принципиально новых технологий, как аддитивные, требует обеспечения взаимосвязи всех этапов их реализации (разработка, проектирование, производство, обслуживание) и формирования специальных условий для этого.

Рассмотрим реализацию данного подхода на примере инновационного территориального кластера Свердловской области «Титановый кластер Свердловской области». Одной из его целей является осуществление следующего производственного направления – разработка и использование лазерных и аддитивных технологий для производства как конечных изделий из титана, так и опытных образцов и вспомогательных материалов для производства

изделий. В результате должны быть созданы комбинированные технологические процессы. Программа развития титанового кластера на 2014–2017 гг. ориентируется на комплексное решение проблемы внедрения аддитивных технологий, предполагается оказание разносторонних инжиниринговых услуг действующим и потенциальным участникам кластера на базе образуемого в Уральском Федеральном Университете им. Б.Н. Ельцина Центра компетенций по созданию цепочки ценностей в виде продуктов и технологий на основе титана и его соединений на стыках различных научно-исследовательских направлений и отраслей с применением лазерных и аддитивных технологий. В результате будет обеспечено оказание комплексных инжиниринговых услуг действующим и потенциальным участникам кластера. Создаваемая инновационная инфраструктура полного цикла позволит использовать результаты научной деятельности в смежных отраслях и внедрять их в практическую деятельность [11]. Предполагается, что Центр компетенций будет обеспечивать:

- развитие технологий, выполнение заказов предприятий по внедрению новых технологических процессов и созданию новых материалов;
- процессы испытаний и сертификации материалов, оборудования и производств (испытания образцов, сертификация оборудования производств);
- подготовку и переподготовку специалистов (обучение, аттестация).

Выводы

Как следует из приведенных данных, аддитивные технологии, с одной стороны, обладают значительными преимуществами перед традиционными методами производства и обработки изделий. С другой стороны, имеются определенные сложности при их использовании. Последние могут быть преодолены за счет использования преимуществ кластерного подхода. Перспективным примером практического использования аддитивных технологий в промышленности России является организация их исследования и применения в создаваемом титановом кластере. Однако для экономической оценки применения аддитивных технологий в производстве титановых изделий необходима разработка методических положений, отражающих специфику их применения.

Библиографический список

1. В России создается отрасль аддитивных технологий. URL: <http://rosnauka.ru/news/187> (дата обращения: 09.2015).
2. Россия будет активно развивать аддитивные технологии. URL: <http://exportclub.ru/rossiya-budet-aktivno-razvivat-additivnye-texnologii/> (дата обращения: 10.2015).
3. Россия осваивает аддитивные технологии. URL: http://minpromtorg.gov.ru/press-centre/all/#!rossiya_osvaivaet_additivnye_tehnologii (дата обращения: 09.2015).

4. Железные перспективы. URL: <http://atomicexpert.com/content/zheleznye-perspektivy> (дата обращения: 03.06.2015).

5. Промышленная 3D-печать в Китае: авиастроение и самый большой в мире 3D-принтер. URL: <http://3dwiki.ru/promyshlennaya-3d-pechat-v-kitae-aviastroenie-i-samyj-bolshoj-v-mire-3d-printer/> (дата обращения: 10.2015).

6. Реактивный двигатель впервые напечатали на 3D-принтере. URL: <http://mir24.tv/news/hi-tech/12123395>. (дата обращения: 09.2015).

7. Космонавты распечатали на 3D-принтере гаечный ключ. URL: <http://mir24.tv/news/hi-tech/11826076> (дата обращения: 09.2015).

8. Безотходное производство, на котором можно выполнять прежде невероятные задачи, – скорое будущее российских аддитивных технологий.

URL: <http://kommersant.site/doc/2678720> (дата обращения: 11.2015).

9. Стрельникова Л. Складываем, а не вычитаем. О тонкостях аддитивных технологий // Химия и жизнь. 2014. № 12. URL: <http://www.hij.ru/read/articles/technologies-and-materials/5202/> (дата обращения: 11.2015).

10. Euromold 2014 – Все, что нужно знать о перспективах 3D-печати. URL: <http://habrahbr.ru/company/3dprintus/blog/244533/> (дата обращения: 10.2015).

11. Программа развития инновационного территориального кластера Свердловской области «Титановый кластер Свердловской области» на 2014–2017 годы. URL: docs.pravo.ru/document/view/68096771/79380773/ (дата обращения: 10.2015).

Ekonomika v promyshlennosti = Economy in the industry
2016, no. 1, January – March, pp. 8–11
ISSN 2072-1633 (print)
ISSN 2413-662X (online)

Status and prospects of development of additive technology in the titanic products manufacture

D. Yu. Sannikov – PSC «VSMPO-Avisma», 1 Parkovaya Str., Verkhnyaya Salda, Sverdlovsk region 624760, Russia.

L. A. Kostygova – NUST «MISIS», 4 Leninsky Prospekt, Moscow 119049, Russia, kostmisis@yandex.ru.

Abstract. The article deals with the prospects of additive technology development in the manufacture of titanium products. Their advantages compared with traditional products production and processing methods and problems associated with their use are studied. The problems can be solved on the basis of a cluster approach. A promising example of the practical use of additive technologies in the industry of Russia is to organize the titanium research and application in a cluster. It was found that for the economic evaluation of the application of additive technologies in the production of titanium products it is necessary to develop methodological provisions, reflecting the specificity of their application.

Keywords: addition of technologies in the production of titanium products, advantages and disadvantages, the prospects for the use of additive technologies, the use of additive technologies in the titanium cluster.

References

1. In Russia, a branch of additive technologies. Available at: <http://rosnauka.ru/news/187> (accessed: 09.2015). (In Russ).

2. Russia will actively develop additive technology. Available at: <http://exportclub.ru/rossiya-budet-aktivno-razvivat-additivnye-texnologii/> (accessed: 10.2015). (In Russ).

3. Russia develops additive technology. Available at: http://minpromtorg.gov.ru/press-centre/all/#!rossiya_

[osvaivaet_additivnye_tehnologii](#) (accessed: 09.2015). (In Russ).

4. Iron prospects. Available at: URL: <http://atomicexpert.com/content/zheleznye-perspektivy> (accessed: 03.06.2015). (In Russ).

5. Industrial 3D-press in China and the largest aircraft have 3D-printers world. Available at: <http://3dwiki.ru/promyshlennaya-3d-pechat-v-kitae-aviastroenie-i-samyj-bolshoj-v-mire-3d-printer/> (accessed: 10.2015). (In Russ).

6. Jet engine for the first time published the 3D-printer. Available at: <http://mir24.tv/news/hi-tech/12123395>. (accessed: 09.2015). (In Russ).

7. Astronauts have printed the 3D-printer wrench. Available at: <http://mir24.tv/news/hi-tech/11826076> (accessed: 09.2015). (In Russ).

8. Waste-free production, which can be performed before the incredible challenges – the near future Russian additive technologies. Available at: <http://kommersant.site/doc/2678720> (accessed: 11.2015). (In Russ).

9. Strel'nikova L. Folding, rather than subtract. On the intricacies of additive technologies. *Khimiya i zhizn*. 2014. No. 12. Available at: <http://www.hij.ru/read/articles/technologies-and-materials/5202/> (accessed: 11.2015). (In Russ).

10. Euromold 2014 – Everything you need to know about the prospects of 3D-printing. Available at: <http://habrahbr.ru/company/3dprintus/blog/244533/> (accessed: 10.2015). (In Russ).

11. Development program of innovative territorial cluster of Sverdlovsk region «Titanium Cluster in Sverdlovsk Region», 2014–2017. Available at: docs.pravo.ru/document/view/68096771/79380773/ (accessed: 10.2015). (In Russ).

Information about authors: *D. Yu. Sannikov* – Chief Accountant, *L. A. Kostygova* – Candidate of Economics. Sciences, Associate Professor.